

ICS 27.140  
CCS P 59

**DL**

中华人民共和国电力行业标准

**P**

**DL/T 5827—2021**

---

# 地下洞室绿色施工技术规范

Technical specification for green construction of  
underground caverns

**2021-04-26 发布**

**2021-10-26 实施**

---

国家能源局 发布

中华人民共和国电力行业标准

地下洞室绿色施工技术规范

Technical specification for green construction of  
underground caverns

**DL/T 5827—2021**

主编机构：中国电力企业联合会

批准机构：国家能源局

施行日期：2021年10月26日

中国电力出版社

2021 北京

国家能源局

公 告

2021 年 第 3 号

国家能源局批准《水电工程建设征地企业处理规划设计规范》等 282 项能源行业标准（附件 1）、*Code for Buildings Design of Wind Power Projects* 等 19 项能源行业标准外文版（附件 2），现予以发布。

- 附件：1. 行业标准目录  
2. 行业标准外文版目录

国家能源局

2021 年 4 月 26 日

附件 1

行业标准目录

| 序号  | 标准编号           | 标准名称         | 代替标准 | 采标号 | 出版机构    | 批准日期       | 实施日期       |
|-----|----------------|--------------|------|-----|---------|------------|------------|
| ... |                |              |      |     |         |            |            |
| 243 | DL/T 5827—2021 | 地下洞室绿色施工技术规范 |      |     | 中国电力出版社 | 2021-04-26 | 2021-10-26 |
| ... |                |              |      |     |         |            |            |

附件 2 行业标准外文版目录（略）

## 前 言

本规范根据《国家能源局关于下达 2013 年第一批能源领域标准计划项目的通知》（国能科技〔2013〕235 号）要求制定。

本规范在制定过程中，编制组经过了广泛调查研究，总结我国几十年来水电工程地下洞室在绿色施工方面的经验，考虑了与现行国家标准和行业标准相协调，并在广泛征求意见的基础上，最后经审查定稿。

本规范主要内容包括基本规定、节能与能源利用、节材与材料资源利用、节水与水资源利用、节地与施工用地保护、生态环境保护。

本规范由中国电力企业联合会提出。

本规范由电力行业水电施工标准化技术委员会(DL/TC 29)归口。

本规范主编单位：国网新源控股有限公司

葛洲坝集团检验检测有限公司

中国电力建设集团有限公司

山东沂蒙抽水蓄能有限公司

中国葛洲坝集团股份有限公司

本规范主要起草人员：路振刚 王洪玉 张国良 沙保卫

朱安平 何万成 谭恺炎 胡清娟

李璟延 和孙文 潘福营 曹 玺

张 强 王轮祥 吕克鹏 杨看迪

李 元 王小军 魏春雷 葛军强

韩小鸣 渠守尚 茹松楠 马萧萧

杨武星 刘延科 黄 蒙 李金明

姚红兵 程雪军 刘冬云 马江权

孔繁臣 吴沛东

## DL/T 5827—2021

本规范主要审查人员：杨和明 杨成文 梅锦煜 王鹏禹  
宗敦峰 周厚贵 许松林 席 浩  
汪 毅 楚跃先 尹显俊 吴新琪  
余 挺 陈改新 张建华 林 鹏  
邓银启 郭光文 余 英 董 芸  
陆采荣 钱文勋 孙来成 李志刚  
梁宏生 李克信 吴高见 叶 明  
向 建 于永军 王 军 陈 茂  
沈仲涛 杨 涛 吴秀荣 肖恩尚  
吕芝林 朱明星 李虎章 陆 超  
徐 军 罗维成 程志华 姚利龙

本规范在执行过程中的意见或建议反馈至中国电力企业联合会标准化管理中心（北京市白广路二条一号，100761）。

## 目 次

|   |           |    |
|---|-----------|----|
| 1 | 总则        | 1  |
| 2 | 术语        | 2  |
| 3 | 基本规定      | 3  |
| 4 | 节能与能源利用   | 4  |
| 5 | 节材与材料资源利用 | 7  |
| 6 | 节水与水资源利用  | 9  |
| 7 | 节地与施工用地保护 | 10 |
| 8 | 生态环境保护    | 11 |
|   | 本规范用词说明   | 14 |
|   | 引用标准名录    | 15 |
|   | 附：条文说明    | 17 |

## Contents

|   |  |    |
|---|--|----|
| 1 | General provisions .....                                       | 1  |
| 2 | Terms .....  | 2  |
| 3 | Basic requirements .....                                       | 3  |
| 4 | Energy conservation and energy utilization .....               | 4  |
| 5 | Material conservation and material resources utilization ..... | 7  |
| 6 | Water conservation and water utilization .....                 | 9  |
| 7 | Land conservation and construction land protection .....       | 10 |
| 8 | Ecological environment protection .....                        | 11 |
|   | Explanation of wording in this specification .....             | 14 |
|   | List of quoted standards .....                                 | 15 |
|   | Addition: Explanation of provisions .....                      | 17 |



# 1 总 则

- 1.0.1** 为规范水电水利工程地下洞室绿色施工，制定本规范。
- 1.0.2** 本规范适用于水电水利工程地下洞室施工。
- 1.0.3** 地下洞室绿色施工应综合考虑工程所在地自然条件，因地制宜，科学合理利用当地资源，实现节能、节材、节水、节地、生态环境保护。
- 1.0.4** 绿色施工应及时进行评价，评价前应根据工程项目环境影响因素与资源节约分析情况确定绿色施工评价要素，作为绿色施工的评价依据。
- 1.0.5** 地下洞室绿色施工除应符合本规范外，尚应符合国家现行有关标准和法律法规的规定。

## 2 术 语

### 2.0.1 绿色施工 green construction

在保证质量、安全等基本要求的前提下，通过科学管理和技术进步，最大限度地节约资源，减少对生态环境的负面影响，实现节能、节材、节水、节地和生态环境保护的施工活动。

### 2.0.2 中水 recycled water, reclaimed water

污水、废水经适当再生工艺处理后，达到一定的水质标准，满足某种使用功能要求，可以进行有益使用的水，也称再生水。

### 3 基本规定

- 3.0.1** 施工组织管理体系应明确各参建单位绿色施工组织机构和职责。
- 3.0.2** 地下洞室施工应选用节约资源与生态环境影响小的产品、技术、设备、材料、施工工艺和方法。
- 3.0.3** 施工组织设计中应包含绿色施工措施章节，并在施工前进行教育培训和技术交底。
- 3.0.4** 施工总布置应按照紧凑合理、永临结合的原则，总体规划生产、生活用地，以及通风、排水、交通等设施。
- 3.0.5** 地下洞室施工应综合考虑枢纽工程施工，进行科学规划，合理安排各洞室的先后施工顺序，做好通风规划与交通规划。
- 3.0.6** 地下洞室支护工程应按照临时支护与永久支护相结合的原则，根据开挖揭露的实际地质条件和施工安全监测成果优化支护方式。
- 3.0.7** 办公区、生活区、施工工厂的施工应符合现行国家标准《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905 的规定。
- 3.0.8** 地下洞室绿色施工宜采用先进的物联网技术手段，对信息和物料进行高效、准确地传递与交换。

## 4 节能与能源利用

**4.0.1** 施工方案应充分考虑节能和能源利用措施，合理安排施工顺序，减少转场消耗，宜利用势能实现自流供排水和出渣。

**4.0.2** 施工道路应按照运输距离短、中转环节少、线路平顺的原则规划设计，合理设置交通出入口，合理规划行车速度及通车流量，道路维护应保证道路使用期的平顺，路面宜选择相适宜的硬化方案，保证路况良好，降低车辆运输中的车辆损耗及耗油量。

**4.0.3** 施工机械设备选用时应进行节能、减排和降耗指标分析和比较，选用高能效比和低排放的机械设备。施工机械设备的选用和使用应符合下列规定：

1 应选用节能型先进产品，不应使用国家和地方政府明令淘汰的产品。

2 选型应简化品种、类型，并考虑机械设备的配套性与配件的通用性。

3 应选择功率与负荷相匹配的施工机械设备，且宜在经济负荷运行。

4 施工机械设备应与工程所在地环境相适应。

5 应定期保养、及时维修，保持机械设备高效运转。不符合耗能标准的机械设备宜及时更新改造。

6 宜采用信息化手段加强各工作面协调管理，提高机械设备利用率。

**4.0.4** 供电应根据施工总布置及用电负荷分布情况，合理布置供电系统。供电系统节能应符合下列规定：

1 应选用安全可靠、经济合理的电源。

2 施工用电设计应科学确定高峰负荷，合理布置线路，选用

低能耗变压器，减少线路损耗和变压器损耗。

**3** 施工变电站、配电室应按照无人值守或少人值守、节约用地、永临结合的原则进行规划设计，宜采用装配式变电站、配电室，并靠近负荷中心，以缩短供电半径和供电距离，并根据需要配置功率补偿装置。

**4** 三相负荷应调整均衡，减少有功损耗，配电变压器的负荷率宜控制在75%~85%。配电变压器宜在220 V/380 V侧安装无功补偿电容器，其容量按配电变压器容量的7%~10%确定，配电台区功率因数不宜小于0.9，可采用集中补偿、分散补偿或单独就地补偿等形式进行补偿。

**5** 配电接线方式应灵活、简洁，主干线路截面应按中长期规划饱和负荷值选择，应按经济电流密度选型，并按电压损耗进行校验。

**6** 照明设备的选用与布置应满足地下洞室安全施工照度要求，宜选用LED等节能光源，宜配置有光照自动调节、时控、声控、光控等功能的装置。

**7** 供电工程应加强巡视检查与用电管理，根据实际负荷情况及时调整供电设施，降低设备空载损耗。

#### **4.0.5** 供水排水工程节能应符合下列规定：

- 1** 选择高效节能的设备和相配套的管道、闸阀、水表。
- 2** 起始泵站、转输泵站及终点泵站的水泵选型宜相互配套。
- 3** 寒冷地区供排水管道与冷却水管道应采用保温材料包裹。

#### **4.0.6** 供风工程节能应符合下列规定：

**1** 供风站的规模、布置、设备选型和数量，应根据工程特点进行比选，其位置宜靠近耗风负荷中心、接近供电和供水点。供风站宜布置在环境相对湿度小、灰尘少、空气清净，且通风良好的场地，应有防水、降温、保温和防雷击设施。

**2** 供风设备应选用能耗较低的空气压缩机，应选择最经济的负荷和管径，应配置风包等储存压缩气体装置。

**3** 空气压缩机排风口与风包进风口的中心应在一条直线上。供风风管应平、紧、稳、直，减少漏风损失。

**4** 运行期间应定期维护供风系统，减少管道漏风及保障供风设备正常工作。

**4.0.7** 地下洞室通风宜采用自然通风和机械通风相结合的方式，利用前期完成的洞室作为通风通道进行自然通风，应选择高效率风机并在经济负荷区间运行，风管挂设应顺直、减少弯曲、防止打折、减少漏风，严寒地区洞口段风管应设置保温设施。

## 5 节材与材料资源利用

**5.0.1** 施工材料应通过技术、经济比较，满足绿色施工要求。

**5.0.2** 施工材料的管理应符合下列规定：

1 根据施工进度、材料使用时段、库存情况等制定材料的采购和使用计划。

2 加强现场材料验收、保管，减少材料的人为和自然损耗。

3 现场材料应标识清晰、分类有序堆放，并满足材料储存及质量保持的要求。

4 执行限额领料和节奖超罚的制度。

5 选择适宜的材料运输工具和装卸方法，防止损坏、遗失和洒落，避免和减少二次搬运。

**5.0.3** 地下洞室开挖宜开展开挖料的试验研究，充分利用开挖渣料。

**5.0.4** 开挖施工应根据爆破试验确定爆破参数，并不断动态优化。

**5.0.5** 施工机械设备宜开展状态监测，并对配件与材料消耗量进行统计和分析，根据监测和分析结果及时保养。

**5.0.6** 喷射混凝土应采用湿喷法，喷射施工时喷嘴与受喷面应保持垂直，喷射距离控制在 0.8 m~1.2 m，降低回弹率，减少回弹量。

**5.0.7** 混凝土配合比设计应根据现场材料情况与施工工艺水平进行优化，减少水泥用量。

**5.0.8** 钢筋、锚杆、钢板等型材应根据优化配料结果确定进场材料的定尺长度，宜采用数字化加工技术放样下料。钢筋连接宜采用机械连接方式。

**5.0.9** 混凝土衬砌模板宜采用钢模台车模板、滑动模板或定型桁架模板，提高周转率。

## **DL/T 5827—2021**

**5.0.10** 灌浆工程宜采用预埋管，灌浆浆液应集中拌制，并采用灌浆台车灌浆，灌浆过程宜实施智能监控。

**5.0.11** 隧洞封堵段的支护与衬砌结构应考虑后期封堵要求，减少二次开挖。

**5.0.12** 建筑余料等可回收利用的材料应回收再利用。



## 6 节水与水资源利用

**6.0.1** 生活供水与施工供水系统应分开布置，并根据工程施工特点、不同用水要求选择水源和供水系统。

**6.0.2** 管线线路和阀门预设位置应根据供排水点位置进行设计，管网和用水器具应采取防渗漏措施，生活用水宜采用节水器具。

**6.0.3** 供水工程应充分利用当地自然资源，宜结合当地气候、地形和地下水、地表径流等情况修建蓄水池，进行自流供水。蓄水池应设有防溢水控制装置。

**6.0.4** 施工现场宜建立雨水、中水或其他可利用水资源的收集利用系统，洞室施工废水、砂石料加工和混凝土拌和系统等施工废水宜净化后回收利用。

**6.0.5** 混凝土养护宜采取喷雾养护措施，减少用水量。

**6.0.6** 施工用水及喷洒路面、绿化浇灌等辅助用水宜利用中水或回收水。

## 7 节地与施工用地保护

**7.0.1** 施工临时设施应根据工程规模、施工要求及地形地质条件合理布置、科学规划，提高场地利用率。宜利用已有场地与料渣回填场地。

**7.0.2** 施工道路应按照有利于地下洞室群施工与永临道路相结合的原则布置，可利用永久水工建筑物及已有道路作为施工通道，减少施工道路、桥涵数量及长度，节省投资，降低工程造价。

**7.0.3** 对外交通应以便捷方式与场内运输相衔接。

**7.0.4** 施工配电线路宜采用架空电力线路，架空电力线路施工除满足现行国家标准《建设工程施工现场供用电安全规范》GB 50194 的要求外，还应满足以下要求：

- 1 宜采用同塔双回或多回线路垂直排列，减少走廊占地。
- 2 高压、低压同杆架设时，低电压应架设在下方，减少走廊宽度和电磁干扰。
- 3 塔位位于斜坡或台阶山地时，宜采用高低腿杆塔，减少塔基开挖。
- 4 杆塔基础应采用原状土基础，减少土体开挖。
- 5 跨越树木时宜采用高跨方案，减少林木砍伐。

## 8 生态环境保护

**8.0.1** 地下洞室绿色施工应符合现行行业标准《水电水利工程施工环境保护技术规程》DL/T 5260 的规定，施工过程中应采取措施保护好工程所在区域自然生态环境，减少对周围居民正常生产、生活的影响，避免诱发地质灾害，施工结束后应按要求复绿、复耕。

**8.0.2** 洞口围堰等挡水设施应尽量减少侵占河道，并满足工程所在地防洪度汛、通航、供水等要求。

**8.0.3** 地下洞室施工时，宜进行爆破有害效应监测，控制爆破参数以保护已有建筑物和边坡稳定、不受损害，并减少对周边人类活动和动物的影响，监测方法按现行行业标准《水电水利工程爆破安全监测规程》DL/T 5333 执行，控制标准应符合现行行业标准《水电水利工程爆破施工技术规范》DL/T 5135 的规定。

**8.0.4** 弃渣场施工与管理应符合下列规定：

- 1 不得侵占主河道、抬高尾水位和恶化水流条件。
- 2 利用溪沟弃渣时应有拦渣、泄洪和引排水措施。
- 3 弃渣场应保持自身稳定，自下而上分层堆放。
- 4 弃渣完成后，应及时进行修整，并修筑永久排水设施和其他防护性工程，保证地表径流不会冲蚀弃渣表面或危及弃渣的稳定性。

**8.0.5** 施工现场扬尘控制应符合下列规定：

1 地下洞室施工除按现行行业标准《水工建筑物地下工程开挖施工技术规范》DL/T 5099 的要求进行通风与除尘外，还应满足以下要求：

- 1) 钻孔、爆破宜采用湿法作业，爆破后宜采用除尘水幕

或喷(洒)水控制粉尘浓度与扩散范围。

- 2) 压入式通风的风机应远离洞口布置,避免压入的空气受污染;抽出式通风应在出风口设置收尘装置。
- 3) 宜选择具有自动控制功能的变频风机,并根据有毒、有害气体监测和粉尘浓度监测结果进行通风控制。
- 4) 应经常对通风系统进行检查、维护,及时修补、更换破损的风管,根据开挖进度及时接长风管,保证通风效果。

**2 施工机械设备配备应满足以下要求:**

- 1) 宜选用污染小的新设备及电动设备,减少油动设备。
- 2) 运输车辆和燃油施工机械设备宜配置尾气净化装置,大型钻孔设备应配备除尘装置。
- 3) 长隧洞或通风条件差时宜采用低排放量的掘进和出渣设备。

**3 细散颗粒材料、易扬尘材料及渣土、垃圾应封闭堆放、存储和运输。**

**4 施工现场出口应设冲洗池,施工道路应定期清扫,施工场地、道路应定期洒水抑尘。**

**5 施工现场使用的水锅炉等宜使用清洁燃料。不应在施工现场融化沥青或焚烧油毡、油漆,以及其他产生有毒、有害烟尘和恶臭气体的物质。**

**6 钢板、钢管除锈时应采取措施避免除锈产生扬尘。**

**7 施工期间应定期对施工区域及施工场界空气质量进行监测,空气质量监测控制标准应符合现行国家标准《环境空气质量标准》GB 3095 的规定。**

**8.0.6 施工现场垃圾处理应符合下列规定:**

- 1 垃圾应分类存放、及时处置,不得随意排放、掩埋和丢弃。
- 2 有毒、有害废弃物的分类率应达到 100%,对有可能造成二次污染的废弃物应单独储存,并设置醒目标识。

3 各类建筑余料、建筑垃圾和废弃物应按现行国家标准《工程施工废弃物再生利用技术规范》GB/T 50743 的规定进行回收和利用。

**8.0.7 噪声控制**宜符合下列规定：

1 施工过程宜使用低噪声、低振动的施工机械设备，对噪声控制要求较高的区域应采取隔声措施。

2 在轴流风机前后宜设置消声器和减振器，在射流风机前后宜设置消声筒。

3 施工车辆洞内通行时宜采用变光警示提醒，不宜鸣笛。

4 施工期间应定期对施工区域及施工场界噪声进行监测，施工场界噪声测量方法与控制标准应符合现行国家标准《建筑施工场界环境噪声排放标准》GB 12523 的规定。

**8.0.8 光污染控制**应符合下列规定：

1 应根据现场和周边环境采取限时施工、遮光 and 全封闭等避免或减少施工过程中光污染的措施。

2 夜间室外照明灯应加设灯罩，光照方向应集中在施工范围内。

3 在强光作用敏感区域施工时，电焊作业和大型照明灯具应采取防光外泄措施。

4 在强光照射环境中施工，应加强作业人员防光辐射保护。

**8.0.9 地下洞室施工期间**应定期对施工排水和生活污水排放进行水质监测，水质监测控制标准应符合现行国家标准《污水综合排放标准》GB 8978 的规定。

**8.0.10 施工现场**应避让、保护场区及周边的古树名木。

## 本规范用词说明

1 为便于在执行本规范条文时区别对待,对要求严格程度不同的用词说明如下:

1) 表示很严格,非这样做不可的:

正面词采用“必须”,反面词采用“严禁”;

2) 表示严格,在正常情况下均应这样做的:

正面词采用“应”,反面词采用“不应”或“不得”;

3) 表示允许稍有选择,在条件许可时首先应这样做的:

正面词采用“宜”,反面词采用“不宜”;

4) 表示有选择,在一定条件下可以这样做的,采用“可”。

2 条文中指明应按其他有关标准执行的写法为:“应符合……的规定”或“应按……执行”。

## 引用标准名录

- 《建设工程施工现场供用电安全规范》 GB 50194  
《工程施工废弃物再生利用技术规范》 GB/T 50743  
《建筑工程绿色施工规范》 GB/T 50905  
《环境空气质量标准》 GB 3095  
《污水综合排放标准》 GB 8978  
《建筑施工场界环境噪声排放标准》 GB 12523  
《水工建筑物地下工程开挖施工技术规范》 DL/T 5099  
《水电水利工程爆破施工技术规范》 DL/T 5135  
《水电水利工程施工环境保护技术规程》 DL/T 5260  
《水电水利工程爆破安全监测规程》 DL/T 5333

中华人民共和国电力行业标准

地下洞室绿色施工技术规范

DL/T 5827—2021

条文说明



## 目 次

|   |           |    |
|---|-----------|----|
| 1 | 总则        | 19 |
| 2 | 术语        | 20 |
| 3 | 基本规定      | 21 |
| 4 | 节能与能源利用   | 24 |
| 5 | 节材与材料资源利用 | 26 |
| 8 | 生态环境保护    | 28 |

# 1 总 则

**1.0.1~1.0.5** 科学合理的水电水利工程建设是当前人类社会最重要、最紧迫的生态文明建设。无论是我国，还是整个世界，要想实现生态文明和可持续发展，都离不开水库大坝和水电的科学开发和建设。同时，水电开发也是落实应对气候变化的《巴黎协定》这个人类文明共同体的有效措施。

即便地下洞室是水电水利工程中对环境影响较小的工程类型，但施工中的开挖、支护、衬砌作业与道路、营地、施工工厂等临建设施施工，以及施工人员的活动等都会给已有生态环境造成影响。例如，爆破作业对临近自然边坡和已有建筑物的爆破震动的影响，开挖施工中粉尘对施工人员和周围环境的影响，施工废水排放污染土壤和水资源问题，施工人员生活垃圾污染问题，洞口开挖施工对自然边坡稳定性的影响，施工中为了实现“干地施工”进行水流控制后对原有河道水流的改变，开挖渣料堆存对耕地和植被的侵占与污染，工程施工大量开采当地材料对植被和水土保持的影响等。而且这类水电水利工程施工也要消耗和占用大量资源。这些都要求在施工中坚决贯彻“人与自然和谐”“生态环境大保护”“绿水青山就是金山银山”“低碳排放”的绿色施工理念，并贯穿整个施工过程和所有施工领域，不留死角，最大限度实现“四节一环保”，即节能、节材、节水、节地和生态环境保护。

综上所述，本规范的任务就是针对地下洞室施工这个重点环节，对施工全过程包括施工设计，以及临建设施施工中的资源节约与生态环境保护等做出规定，以规范水电水利工程地下洞室绿色施工。可以说，本规范也是落实“构建人类命运共同体”的产物。

## 2 术 语

**2.0.1** 建筑业首先从文明施工、环境保护开始，逐步到环境保护体系的推广，国家“节能减排”政策的推行，继而出现了“节约型工地”和施工中节能减排的具体做法和要求，因此绿色施工的概念可以从文明施工、环境保护、节能减排、绿色建筑等方面进行梳理。

国家标准《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905—2014 与《建筑工程绿色施工评价标准》GB/T 50640—2010 中对“绿色施工”的定义是一致的，即在保证质量、安全等基本要求的前提下，通过科学管理和技术进步，最大限度地节约资源，减少对环境的负面影响，实现节能、节材、节水、节地和生态环境保护（“四节一环保”）的建筑工程施工活动。

中国电力建设企业协会发布的《电力建设绿色施工示范工程管理办法》（2016 版）第三条“本办法所称绿色施工是指在保证质量、安全等基本要求的前提下，通过科学管理和技术进步，最大限度地节约资源与减少对环境的负面影响，实现‘四节一环保’（节能、节地、节材、节水和环境保护）的文明施工活动。”

由此可知，电力行业与建筑行业关于绿色施工的概念是一致的，所以本规范引用国家标准《建筑工程绿色施工规范》GB/T 50905—2014 中绿色施工的定义。

### 3 基本规定

**3.0.2** 施工方案对工程的进度、质量、成本及安全环保等各方面影响重大，要做到绿色施工，有必要对施工方案进行比选优化。比选优化时，采用系统仿真的思路，紧密配合工程施工组织设计，运用先进的工程管理理论方法和技术手段，全面系统地分析研究地下洞室群施工中各方面因素，统筹各方面的相互制约关系，将各洞室各工序间进行协调，对施工工序及施工区域统筹规划、合理安排，共享相邻作业区资源，减少作业区机械设备数量，从而使施工进度计划更加科学化，达到施工顺序合理，施工快速、经济、安全的目的。同时，将工程地质三维建模技术引入地下洞室群施工仿真，便于获取并分析地下洞室群施工中的地质信息，模拟工程真实地质形态。技术措施有：

(1) 针对地下洞室工程的具体施工特性，综合考虑各种因素的影响，基于层次化、模块化建模的思想，进行地下洞室群施工全过程仿真建模，全面描述地下洞室群的施工过程。同时，研究地下洞室群施工系统仿真分析与优化的方法，并对施工仿真参数进行多方案比选，分析洞室合理的开挖循环作业参数及机械设备配套方案。

(2) 采用系统仿真的方法建立施工进度，充分考虑施工工序间的依赖关系，通过对地下洞室群施工过程的仿真和资源强度的均衡优化，确定合理的施工工期、施工进度安排、关键路线、施工强度及各时段机械设备使用情况等，对工程完工概率和施工交通运输系统进行分析研究，为施工方案的论证分析提供更好的依据。

(3) 充分考虑地下洞室的地质条件，对工程地质三维建模技

术及其实现方法进行研究，根据实际地质勘探资料，完成地下洞室工程整体区域及地下洞室群地质三维可视化模型的构建，运用模型进行相关地质信息的可视化分析。

(4) 根据施工仿真与优化得到的成果，并结合已构建的工程地质三维可视化模型，进一步进行地下洞室群施工过程三维动态可视化分析，利用三维地质模型实现施工仿真结果的动态可视化分析，通过对任意时刻施工整体三维面貌与相关施工信息、地质信息进行耦合，实现地下洞室群施工全过程的三维动态演示。

综上所述，运用仿真建模技术和工程地质三维建模技术，对施工方案进行动态优化，可最大限度实现“四节一环保”，达到绿色施工的目的。

**3.0.3** 对施工人员进行绿色施工交底和教育培训，有利于培养绿色施工理念，也有利于施工人员了解绿色施工技术要求与措施，便于施工人员执行到位，工程中应加以重视。

**3.0.4** 永临结合可减少重复建设。总体规划时一般通过土石方平衡和弃渣规划，综合考虑施工道路、运输距离等因素，合理规划渣场、料场、拌和系统，减少土地占用和物料倒运。

**3.0.5** 在交通洞、通风洞、排水洞，以及所有与洞外相连的洞室早开工早投运的情况下，可以利用这些洞室进行通风、排水与出渣，不但节约施工成本，还可以改善通风效果、提高工效。

**3.0.6** 地下工程施工中往往出现开挖揭露的实际地质状况与设计阶段勘测结果不一致的情况，如果仍按照原设计支护方式施工可能不安全或者不经济，此时应及时进行设计调整或优化，开展施工安全监测不仅可以指导安全施工，还可以为优化设计提供直接依据。

**3.0.8** 应用信息化和物联网技术手段可以提高效率、节约成本，值得大力推广。日常管理方面的信息化系统比较成熟，一般可以直接应用到施工管理中，如电子邮件、电话、视频会议、远程监控、二维码、电子标签、GNSS 定位、电子签名与电子档案等。

地下洞室施工中，施工方法、施工工艺、施工进度、施工参数等要素与围岩稳定关系非常密切，一般要进行围岩稳定监测（又称施工安全监测），通过监测结果反馈施工，及时进行调整，建立监测信息化系统可以实现快速反应，对于自动化程度较高的施工机械设备，甚至可以通过信息化系统实现自动化、智能化控制施工，应鼓励在洞室开挖、支护、衬砌施工时采用信息化施工。进一步实现施工质量、安全的信息化，可获得大量的检测信息和质量安全信息，对这些信息进行分析和反馈，用以指导调整施工、及时调整设计，还可通过网络与其他国家和地区的工程数据库联系，在遇到新的疑难问题时可及时查询解决。

## 4 节能与能源利用

**4.0.1** 有效利用势能实现自流供排水和出渣的施工措施包括从上至下进行开挖施工、逐层开挖逐层支护，以及在斜井和竖井施工中采用反井钻机等。

**4.0.3** 做好机械设备的维修保养工作，不但可以提高工作效率、降低损耗，还可以提高设备使用时限，对于节能减排具有重大效益。常用的措施有：

(1) 在低温寒冷环境下作业前要启动前预热，启动后采用升温措施。

(2) 使用合适牌号的柴油。

(3) 应对工程机械动力系统的变速器、分动器、减速器、主传动器及工作装置等需要润滑的地方更换冬季润滑油。

(4) 使用中要特别关注液压油的清洁度。

(5) 转变维修方式，从传统的预防性维修和事后维修变为“预防为主，定期保养，视情修理”。工程机械修理前，制定修理方案，修理方案中不但包括恢复其技术状况的内容，同时包括降低消耗，减少排放的措施。

(6) 发动机大修后要进行冷磨热试，检查并消除装配中的缺陷，提高配合零件的表面质量，延长发动机的使用寿命，得到最好的动力性和经济性，有效降低消耗，减少排放。

**4.0.4 1** 网电既经济又安全，是优先采用的供电电源。采用多能源互补可解决很多条件受限时的电源问题，多能互补通常可利用太阳能、地热能、风能等可再生能源。

7 除开展节能教育外，加强用电管理有利于养成节能习惯。常用的用电管理措施有：分区用电，对各区域和各大设备分别

设定用电控制指标，分区控制、分区设表计量；施工机具按照“一机、一闸、一箱、一漏”配备；对临时用电进行定期计量核算、对比分析，并采取预防与纠正措施。



## 5 节材与材料资源利用

**5.0.1** 绿色建材又称生态建材、环保建材和健康建材，指健康型、环保型、安全型的建筑材料，在国际上也称为“健康建材”或“环保建材”。绿色建材不是指单独的建材产品，而是对建材“健康、环保、安全”品性的评价，一般指采用清洁生产技术、少用天然资源和能源、大量使用工业或城市固体废物生产的无毒害、无污染、无放射性、有利于环境保护和人体健康的建筑材料。它是具有消磁、消声、调光、调温、隔热、防火、抗静电的性能，并具有调节人体机能的特种新型功能建筑材料。

**5.0.2** 为了更加有效地进行材料管理，可应用建筑信息模型（BIM）技术结合建筑材料、设备管理软件，对施工全过程的建筑材料、设备使用情况进行仿真分析，合理地组织建筑材料、设备的计划、供应与使用，实现建筑材料、设备的预算计划、采购计划、入出库、甲供材、库存、成本分析、财务、权限等精细化管理目标，保证建筑材料、设备从生产企业按品种、数量、质量、期限进入施工场地，减少流转环节，防止积压浪费。运用现代物联网技术对建筑材料、设备进行追踪定位，结合 BIM 数据库平台的信息，实现物资和设备的完整记录和实时追踪，实现洞室施工全过程的建筑材料、设备的精细化管理。

**5.0.3** 爆破料用于大坝填筑料与混凝土骨料的研究有很多，主要研究优化爆破参数，提高爆破料直接利用率，不同的岩性与构造爆破后的粒形和粒径均有不同，一般通过爆破试验优选最佳爆破参数。对于隧道掘进机（TBM）开挖的渣料，有些工程结合混凝土配合比设计进行了一些研究，可用作混凝土骨料。对于泥水盾

构的渣料，一般进行沉淀除水后作为废渣填埋，也有的研究反映掺入一定的添加剂和胶凝材料后用作建筑材料，或用于钻孔泥浆使用。

**5.0.9** 钢模台车以电动机驱动行走机构带动台车行走，利用液压油缸和螺旋千斤顶调整模板到位及收模，隧洞混凝土成型质量好。钢模台车的应用，大大减少了普通木模板、钢模板的使用量和损耗量，降低了作业人员劳动强度，而且衬砌混凝土浇筑质量好，施工速度快。

当洞室断面为异形或者标准型断面长度较小时，采用钢模台车的优势不明显，有时可能还是不经济的，此时可根据施工特点采用木模板或其他拼装模板。

**5.0.10** 当有条件预埋灌浆管道时，应尽量采用预埋管进行灌浆施工，如接触灌浆等。

## 8 生态环境保护

**8.0.5 1** 水压爆破工法是一种爆破湿法作业方式，在装药结构内增设了“水袋”，它与“炸药”和“炮泥”三者构成了复合装药堵塞结构，除增大爆破效率、节约炸药量外，还可减少粉尘和噪声，属于节能环保的工法。

**8.0.5、8.0.9** 施工时会产生废气、废水和废渣，未经处理直接排放会对环境造成影响，需要处理达标后才能向环境排放，所以需要进行相应的检测。由于环境检测中对样品的保存有较高要求，保存时间过长和保存环境不符合要求都易引起样品变质而影响检测结果，水电水利工程一般地处偏远山区，附近缺少相应的环境检测机构，所以宜在施工场地建立环境检测实验室，当工程所在地附近有相关环境检测机构时也可进行外部委托。