

# 甘青隧道施工反坡排水系统设计应用研究

吴延俊

上海东方泵业(集团)有限公司 上海市宝山区 201900

**摘要:** 高海拔地区大长隧道反坡排水,对隧道的施组织和管理影响重大。以甘青隧道反坡排水的施工项目为例,介绍该项目反坡排水的设计思路和排水泵站配置的技术要点,对提高隧道内排水系统运行的经济效益有较强的操作性。

**关键词:** 特长隧道;反坡排水;移动泵站;泵前吸水装置;甘青隧道

## Study on Design and Application of anti-slope drainage system in Gansu-Qinghai Tunnel Construction

Wu Yanjun

Shanghai Dongfang pump (Group) Co., Ltd. Shanghai Baoshan District 201900

**Abstract:** The anti-slope drainage of large and long tunnels in high-altitude areas has a great impact on the organization and management of the tunnel. Taking the construction project of anti-slope drainage of the Gansu-Qinghai tunnel as an example, this paper introduces the design idea of anti-slope drainage and the technical key points of the configuration of a drainage pumping station. It has strong maneuverability to improve the economic benefit of drainage system operation in the tunnel.

**Keywords:** extra-long tunnel; adverse slope drainage; mobile pumping station; suction device in front of pump; Gansu-Qinghai tunnel

### 引言:

随着我国经济的发展,隧道施工技术的不断提高,在西北、西南等高海拔区域特大长隧道也随之增多。受高原气候及地质水文条件情况影响,也受探测手段所限,无法准确判断隧道涌水量,确定设计反坡排水系统。排水泵的确定、排水管的选择、进口吸水装置、水锤装置等选择都非常重要,需要综合分析,动态调整,所以隧道反坡排水系统的设计将成为高海拔长隧道安全、快速、高效施工的重要保障。

**通讯作者简介:** 吴延俊(1984-),男,甘肃武威人,毕业于兰州理工大学,热能与动力工程专业,本科,主要从事泵类应用研究工作。

**Communication author:** Wu Yanjun (1984 -), male, Wuwei, Gansu, graduated from Lanzhou University of Technology, majored in thermal energy and power engineering, mainly engaged in pump application research.

现以甘青隧道为研究对象,对甘青隧道1#、2#斜井施工中反坡排水系统进行泵站设置和各项关键参数的计算,为高海拔长隧道反坡排水系统设计提供参考。

### 1 甘青隧道工程概况

西宁至成铁路甘青隧道位于甘肃省夏河县与青海省同仁县分界,在甘加站与同仁站之间。为单洞双线合修隧道,起讫里程DK381+055 ~ DK403+435,全长22380m。本段为甘青隧道出口段,起讫里程DK393+033 ~ DK403+435,全长10402m,洞内纵坡为-25‰/8367m、斜井坡度11.8‰/220。甘青隧道1#、2#斜井区属高原大陆性气候,海拔约3300米。地表水属黄河一级支流隆务河和大夏河水系,地表水主要为沟谷流水。隧道洞身多位于中等富水、弱富水区。1#斜井DK387+200段全长2238m,预测最大涌水量10428(m<sup>3</sup>/d);2#斜井DK391+000段全长3117m,预测最大涌水量19518m<sup>3</sup>/d。

### 2 反坡排水方案

#### 2.1 排水系统设计原则

反坡排水方式：采用梯级泵站机械抽排方式，分级接力将水排出洞外。排水系统由集水池、排水泵、阀门、控制系统、排水管路等设施组成。根据泵站的功能，可将泵站分为两类：移动排水系统和固定排水系统。固定泵站建成后，围岩渗水和施工用水及地下涌水均通过临时排水系统抽排到集水仓蓄水池，然后由固定泵站水泵统一抽排到洞外，移动泵站排水泵在满足排水能力的情况下，尽量选耐磨，轻型，防缠绕、易更换型潜污泵。固定泵站配备的排水泵，应便于安装、检修、保养、排水效率高，流量较大、扬程较高的一般选用干式离心泵，并设置备用泵和备用排水管。根据最大涌水量选择匹配的水泵电机功率。选择时以最大涌水量为依据，同时考虑突发涌水情况，排水泵的电机功率应大于排水量所需功率20%以上，工作水泵按使用1-2台，备用1台，同时装机采用分接头联结<sup>[1]</sup>。

## 2.2 反坡排水系统设计

### 2.2.1 泵站设置

#### ①排水泵站级数确定：

$$\text{泵站级数：} m = (L \times Z) / (h \times r)$$

式中：L-反坡抽水长度，Z-隧道排水坡度，h-暂定水泵扬程，r-压力折减系数，取0.5。

#### ②修正水泵扬程：

$$\text{参考计算公式：} H = Z + h_1 + h_2$$

H-水泵扬程，m；Z-相邻泵站水泵进出口垂直高差； $h_1$ -管路损失； $h_2$ -局部损失；管路损失及局部损失计算可使用达西公式或参照《管道和水泵简易计算法》；粗算可按每百米损失2~3米来计算<sup>[3]</sup>。

#### ③排水泵数量配置

$$\text{排水泵数量：} n = V_1 / (V_2 \times 24 \times a)$$

式中： $V_1$ -洞内涌水量， $V_2$ -排水泵排水量，a-流量折减系数，取 $a=0.75 \sim 0.85$

#### ④管路配置

根据隧道洞内汇集水量情况，结合选配的排水泵，采用一泵一管，根据现场实际情况新增管路。排水管最多可以做到一拖二，再多会影响水泵偏离高效区。

$$\text{水泵排水管直径：} D = \sqrt{4Q / (3.14v)}$$

式中：Q-管道流量（ $m^3/s$ ），v-水在排水管内的平均速度，一般参考值取2~3 $m/s$ <sup>[2]</sup>

## 2.3 水仓的布置

水仓几何尺寸的确定，根据隧道最大涌水情况下10~15分钟水仓的蓄水量大小，选择水仓的几何尺寸。施工斜井时，修建水仓大小应考虑正洞施工的最大涌水量。

## 2.4 水锤防护措施

由于长隧道排水系统水泵扬程高、管路长，水锤现象也较为严重，水锤的最大压力值为几何扬程的3~5倍，如果处理不好，会对排水设备和管道造成较大的损坏。目前隧道排水系统多采取出水管上加装缓闭止回阀等措施来降低水锤对系统的影响，但部分项目效果并不理想。

为减小水锤影响，可采取的措施：1) 多区段排水，降低排水泵扬程；2) 加大管径，减低流速；3) 泵出水管加装水锤消除器或者多功能水力控制阀；4) 控制柜软启动，实现水泵软起软停；5) 增设调压塔<sup>[3]</sup>。

## 3 主要设备配置

### 3.1 移动水泵设置

掌子面排水使用移动排水泵，选用功率较小的、可随时调用的、轻便的潜污泵，根据涌水量投入1台或多台同时运行排水。

为了防止大颗粒的碎石及杂物等进入水泵，应进行必要的过滤处理，考虑掌子面附近不宜设置沉淀过滤池，现场安装时应提供铁窗纱、竹筐之类的简易过滤装置，可以设置细格栅<sup>[4]</sup>。

另外，如果隧洞空间条件允许，在不影响施工设备通行的情况下可设置移动泵站，该泵站由1个一定容积的水箱和1台或2台扬程较高的卧式双吸泵作为主排水泵，掌子面后仍选用功率较小、轻便的潜水泵将汇集的涌水排到水箱中。移动泵站结构示意图如图1：



图1

移动水箱的容积，应根据隧洞宽度条件确定，同时水箱底部还应设置排污口，并定期进行排空和清理淤积。

### 3.2 固定排水泵设置

固定泵站的排水泵多采用潜水泵、卧式多级泵或中开双吸泵。1) 潜水泵在集水坑中使用，虽然安装方便，但是容易堵塞，叶轮磨损严重，排水效率低、不便维修，特别是大功率潜水电机容易过载烧毁，导致整机报废，运维成本高。2) 卧式多级泵主要是结构较为复杂，维修难度大，需要专业技术人员维修，易损件多，维修成本高；3) 长隧道、大涌水、高扬程优先选用卧式中开式双吸离心泵，泵腔和叶轮流道较宽，对隧道含泥、含沙的复杂水质的通过能力较强，流量范围广、可调高效区宽、运行平稳、易损配件少，后期维护更换备件快捷，运行

维修成本低；在泵站位置选择时，因双吸泵选型范围较宽，主型号为统一系列，不同扬程只需更换叶轮即可实现，统一水泵规格种类，提高配件的通用性，减少备件数量，可大大降低后期的维修成本<sup>[5]</sup>。

### 3.3 设置排水泵进水装置

排水泵的进水方式有自灌式和吸上式安装。由于隧洞内安装空间狭小，排水泵一般都采用吸上式。通常的做法：1、前端安装底阀；2、泵前设置真空引水罐引水；3、采用真空泵引水。如从运行可靠、安装空间、投入成本考虑，应选用吸水管前置泵，前置泵一般选用可补充排水泵进口吸程的潜污泵。前置泵具有以下优点：1) 安装在吸水管前端，不占用泵房空间。2) 排水泵的安装不受安装地点的海拔高低和泵自身的必须汽蚀余量值影响。3) 连锁启动，可自动对吸水管和排水泵灌水。4) 对吸水池较深的，潜水泵推荐采用耦合式安装，故障维修时直接吊出故障泵更换后可投入使用。5) 潜水泵可配置搅匀功能，防止淤积、堵塞。

### 3.4 现场施工排水设备

针对甘青隧洞施工环境和排水情况，再结合高海拔地区隧洞项目实施中的经验，最终排水设备配置见表1。

表1 施工排水设备配置表

工区	1#斜井	2#斜井
井身长度	2224m	3100m
预计总排水高差 (m)	261	345
正常/最大涌水量 (m <sup>3</sup> /d)	4860/10428	9357/19518
排水泵站设置	采用4级排水泵站	采用6级排水泵站
设计正常/最大排水量 (m <sup>3</sup> /h)	243/521.4	467.85/975.9
排水管规格	内径≥φ200钢管，一泵一管	内径≥φ200钢管，一泵一管
排水管规格	DN200	DN200
排水管长度L (m)	500	500
单泵设计排水量Q (m <sup>3</sup> /h)	250	250
管路损失 (m)	22	22
考虑局部损失+末端水头 (m)	10	10
排水高差 (m)	53	50
排水扬程 (m) ≥	85	82
泵型：卧式双吸泵	DFSS200-7N/2	DFSS200-7N/2
配套功率 (KW)	110	110

工区	1#斜井	2#斜井
每级泵站数量 (台)	2台, 2用1冷备, 一泵一管	4台, 4用1冷备, 一泵一管
每级泵站计算总功率 (KW)	220	440
备注说明	运行1台, 可满足正常涌水排水	运行2台, 可满足正常涌水排水
	运行2台, 可满足最大涌水排水	运行4台, 可满足最大涌水排水
其它	配套前端吸水辅泵、水锤消除器和水泵采用变频或者软起控制	

## 4 结论

本文结合已建隧道施工反坡排水设备的系统解决方案，对高海拔特长隧道反坡排水系统技术要点进行梳理，并得出以下结论。

(1) 泵站设置要综合分析，排水量要结合涌水量预估和动态检测进行排水总量分析，可以设置多台排水泵，组合排水，合理进行排水设置。

(2) 掌上面临时移动泵使用率较高，因便携性的限制，无法达到较远距离的排水能力，撬装移动泵站可以较好的解决这一个问题。

(3) 高海拔地区，大流量、高扬程离心泵因吸上高度不够，易导致水泵气蚀，无法正常使用。对目前常见的几种吸上装置做了对比分析，采用前置泵方案使用效果最好。

(4) 对高扬程泵在长管道中水锤危害非常严重，如何选择水锤消除方法进行分析，可以根据现场情况选择适合的水锤消除器，还应采取排水泵软起软停等措施，降低水锤对设备的危害。

高海拔长隧道反坡排水系统是否高效可靠，决定着隧道施工能否正常施工作业。选择高效的排水设备，制定科学的系统排水方案，有助于实现施工企业降本增效。随着新技术、新设备的开发应用，智能化、轻维护、高可靠性将成为隧道施工排水系统的发展方向。

### 参考文献：

- [1] 《铁路工程施工组织设计规范》(Q/CR9004-2018)。
- [2] 特长隧道涌水综合反坡排水施工技术. 刘牛生. [J]. 建筑, 2010 (12): 3.
- [3] 水下长大隧道排水系统设计问题探讨. 吕青松, 贺维国, 方祖磊, 程士好; 隧道建设; 2016-04-19
- [4] 乌鞘岭隧道6号斜井工区反坡排水设计与施工. 张胜. [J]. 铁道标准设计, 2005, 000 (009): 106-108.
- [5] I级高风险特长隧道反坡排水方法探析. 周国龙. 交通标准化, 2011 (16): 141-144.