

对渔子溪二级《引水隧洞通风设计》的商榷

水电部成都勘测设计院施工处 傅鸿明

渔子溪二级电站是我省目前正在施工的引水式电站之一。为了加快该电站建设,省水电工程学会施工专业委员会,对控制该电站工期的引水隧洞工程的施工方法、技术措施及机械设备等问题曾组织过学术讨论。鉴于我省水工隧洞在以往施工中不同程度地存在着通风时间长、洞内空气污浊等问题(见表1),况且渔子溪二级电站引水隧洞又长达7611.3米,其独头通风距离多达1400米的情况下,对施工中的通风问题专门进行设计研究是十分必要的。

笔者对会议上提出的《引水隧洞通风设计》一文中的通风量计算方法和风机选择等问题提出几点意见,以供讨论。

一、原通风设计情况

该电站隧洞开挖直径6~7.4米,最大断面积41米²。全洞线分设四个施工支洞,采用压、吸混合式通风,其设计要点如下:

1. 通风量的确定

按三种情况计算:〈1〉以工作面最多工作人数41人计,需风量为141.45米³/分;〈2〉洞内最小允许风速以0.15米/秒计,需风量为369米³/分;〈3〉按100公斤炸药爆破后产生的有害气体,再通风30分钟冲淡到容许浓度,则需风量为666.7米³/分。

根据工地现有风机,其最大供风能力为390米³/分。装药放炮后,若连续通风51分钟,洞内空气始能达到国家规定的卫生标准。

2. 风压计算

每400米设置一台风机进行串联通风,风管直径0.6米。流经风管的风速以12米/秒计,风压损失为123.7毫米水柱。

3. 漏风计算

因压入风机的通风距离较短,拟在吸出式风管接头处采取措施,故未计算漏风量。

4. 风机选择

根据风量与风压计算结果,吸出采用JBT61—2型风机;压入选用JBT52—2型风机。

5. 风机与风筒布置

吸出风筒采用铁皮风筒,每节长5米,风筒末端距掘进工作面30~50米,每台风机距离不超过400米。压入风机相距215米,兼用软硬风筒。

表 1

几个水工隧洞施工通风曾存在过的问题

隧洞名称	洞长 (米)	通过岩石	断面尺寸 (米)	施工日期	施 工 方 法	施工通风中曾存在的问题
紫坪铺电站 导流隧洞				停 建	钻爆法有轨运输	58年施工中曾发生瓦斯爆炸事故
映秀湾电站 引水隧洞	3825	蚀变闪长 岩、闪长 岩和花岗 岩	D = 8	1971年 建成发电	半断面和全断面开 挖。 短臂挖掘机配10吨 双向自卸汽车出 碴。	洞内空气污浊, CO 含量 曾达157~434毫克/立米; NO _x 含量曾达39~55毫克 /立米, 超过劳卫规定8 倍以上。通风散烟1.5~ 3小时。曾发生施工人员 晕倒在现场的事故。
渔子溪一级 电站引水 隧 洞	8413	花岗闪长 岩、闪长 岩及花岗 岩	园 形 D = 5.7 方园形 6.8 × 6.8	1972年 建成发电	全断面开挖, 上部 台阶先行开挖, 棚 架漏斗开挖。 斗车有轨运输。	*4支洞施工初期, 虽采用 二台11吨轴流式及一台7 吨离心式风机进行混合式 通风, 因布置与管理不 妥, 在独头长度475米通 风散烟即需一小时以上。
南桧河三级 电站引水 隧 洞	7017	花岗闪 长 岩	D = 5.8	1982年 建成发电	全断面及分台阶开 挖。 斗车有轨运输。	洞内空气较污浊, CO 含 量曾达158毫克/立米; NO _x 曾达42毫克/立米, 超过劳卫标准5倍。
渔子溪二级 电站引水 隧 洞	7611	花岗岩	D = 6.0	修建中	全断面开挖。 斗车有轨运输。	*2支洞向主洞掘进40米期 间(通风长度750米), 虽设置二台11吨轴流式风 机进行混合式通风, 散烟 通风时间需1.5小时。

二、通风量计算问题

原设计中的风量计算原则与步骤是正确的, 但其公式选择与具体计算上, 似有不妥之处。

1. 爆破所需风量计算

为排除炸药产生的有害气体, 原设计系根据《铁路工程技术手册》中的公式:

$$Q = \frac{5Ab}{t} \text{ 计算得出爆破所需通风量。}$$

在渔子溪二级引水隧洞具体情况下,采用上式计算,有以下两个问题:

<1>该式是按纯稀释理论,假定每公斤炸药产生的有害气体统一折算成一氧化碳,并在规定时间内使其降低到200ppm的前提下建立的。

原设计中拟以延长通风散烟时间来解决扇风机容量不足的问题,即通风时间从20分钟延长到51分钟,使洞内空气中的一氧化碳浓度降到200ppm。如果要求一氧化碳浓度达到国家规定标准,即应低于24ppm,当扇风机的生产量为390米³/分时,依照原公式核算,则所需通风时间为427.5分钟(即7.1小时)。也就是说,放炮7小时后洞内空气中一氧化碳浓度才能达到国家规定的卫生标准。即使扣除2小时的正常通风、安全检查时间,施工人员仍可能在一氧化碳含量为40ppm的环境中工作2小时以上。显然,这是不利于工人健康的。

<2>根据类似工程的现场观察,洞内炮烟一般不会静止不动,炮烟扩散后其中一部分将被洞内的风流带走。因此,上述静止冲淡理论公式的计算结果,多较实际排除炮烟所需风量大,故该式只能作为施工通风量的估算公式。鉴于渔子溪引水隧洞断面较大,一次炸药用量达100公斤,而通风方式业已选定混合式,因此用排出法计算比用冲淡法计算似更为合理。

现用原设计数据,按混合式排出法的两种公式进行需风量计算,其结果列于表2中。可以

表 2 风 量 计 算 表

公 式 来 源	公 式 型 式	计 算 结 果 (米 ³ /分)	公 式 符 号 意 义
煤矿通风与安全 (煤炭工业出版社1979年) 矿山通风与安全 (工业出版社1961年) 铁路施工手册— 隧道(铁道出版社1981年)	$Q_{混压} = \frac{7.8^3}{t} \sqrt{A \cdot V_L^2}$ $Q_{混吸} = 1.2 \sim 1.25 Q_{混压}$	$Q_{混压} = 292$ $Q_{混吸} = 365$	t~规定的通风时间,分; A~每次爆破的最大炸药量,公斤; V _L ~吸风口到工作面间巷道容积,米 ³ ; d~风管到工作面的距离,米; ε ₁ ~爆破后开挖面有害气体浓度,ppm; ε ₂ ~有害气体允许浓度,ppm; Q~需要通风量,米 ³ /分。
矿内通风学 (煤炭工业出版社1954年) 水利水电施工专题 (武汉水利学院1981年)	$Q_{混压} = \frac{15.6}{t} \sqrt{A \cdot V_L}$ $Q_{混吸} = 1.2 \sim 1.3 Q_{混压}$	$Q_{混压} = 353$ $Q_{混吸} = 441$	
日本隧道概况 (人民铁道出版社1980年)	$Q = \frac{d \cdot S}{t} \lg e \frac{\varepsilon_1}{\varepsilon_2}$ $\left(\varepsilon_1 = \frac{\text{爆破后有害气体量(升)}}{100 \cdot S \cdot d} \right)$	$Q = 581$	

认为：欲排除爆破后产生的有害气体，掘进工作面应有压入风量 $353\text{米}^3/\text{分}$ ；吸出风量为 $441\text{米}^3/\text{分}$ 。

2. 排尘所需风量计算

为了有效地排除洞内粉尘，所需要的新鲜空气量与隧洞断面积和洞内风速有关。原设计系依据水电部63年制定的《水工隧洞施工开挖规范》中所规定的：“工作面附近的最小风速不得低于 $0.15\text{米}/\text{秒}$ ”，确定其需风量为 $369\text{米}^3/\text{分}$ 。

实际上，洞内风速 $0.15\text{米}/\text{秒}$ 是无法满足排尘或降尘对风流速度的要求，即排尘风量值 $369\text{米}^3/\text{分}$ 偏小，主要原因有以下两点：

〈1〉呼吸性粉尘是地下工程施工中影响安全卫生的因素之一。在爆破时，瞬间发生的粉尘浓度每 米^3 空气中估计可达几千或上万毫克，产生的粉尘平均粒径为 0.73 微米。及时排除施工中产生的过量粉尘是不可忽视的，而加强通风、适当提高风速则是综合性排尘措施中一个有效手段。从国内、外的研究与实践经验总结（见表3），排尘的合理风速一般不宜低于 $0.25\text{米}/\text{秒}$ 。

表 3 国 内 外 排 尘 风 速 表

资 料 来 源		最 低 排 尘 风 速 值 (米/秒)
中 国	冶金矿山安全规程 (80年)	0.25
	铁路工程施工技术手册(81年)	全断面开挖0.15；坑道内0.25
	劳动部矿山防止矽尘危害技术措施暂行办法(58)年	0.25~0.6
	水工隧洞施工开挖规范	0.15
苏 联 有 色 设 计 院		0.55
波 兰		最佳风速1.5；扬尘极限风速4.0
英 国		合理排尘风速为 3 ~ 4.17
美 国		试验结果：风速0.42时，粉尘 3 毫克/米 ³ ； 风速0.55时，粉尘 2 毫克/米 ³ ； 风速0.65时，粉尘 1 毫克/米 ³ 。 认为流经巷道风速不宜低于0.35
加 拿 大		0.5

〈2〉粉尘中游离二氧化硅的含量越高，则引起矽肺病变的程度越重，病变发展的速度越快。据国内观察资料，游离二氧化硅含量在90%以上的高分散度粉尘中，施工人员长期处在粉尘平均浓度 $1.26\sim 5.3$ 毫克/米³的状态下，历11年即可能发生矽肺病。当浓度为 $1.85\sim 6.51$ 毫克/米³时，接触粉尘作业8年，就会发生矽肺病。因此，工业企业设计卫生标准(TJ36

—79) 第32条表4中规定, 当生产性粉尘中游离二氧化硅含量不同时, 容许粉尘浓度也不同。考虑到渔子溪二级引水隧洞主要为花岗岩岩体, 其中二氧化硅含量为65~75%, 远远超过了(法规 TJ—36—79) 规定的10%标准, 即相应要求洞内空气中粉尘浓度应低于2毫克/米³, 而不是10毫克/米³, 因此加大通风换气量尤为必要。

按照目前常用公式计算, 为满足排尘, 所需风量应达到615米³/分。

由于隧洞位于1200米高程, 气压及温度亦随之变化, 通风量需作修正。炸药所产生的有害气体随气压降低而增大, 修正系数应为1.14。粉尘的沉降速度虽因空气密度降低稍有增加, 但增加甚微; 且风流带走和迫降粉尘的能力变化不大, 需风量可不作修正。

对散烟及排尘所需风量计算结果, 应选其最大值, 亦即掘进工作面需风量应不低于615米³/分。

三、通风机的选择问题

原通风设计中, 在风压计算与风机选择上, 有以下几个问题值得商讨。

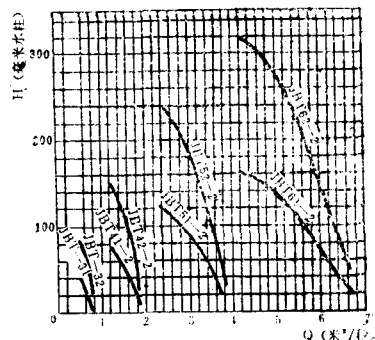
1. 原设计拟定风筒内的风速最高为12米/秒, 算得风管的通风量为3.4米³/秒, 相应风管中的摩阻损失达123.7毫米水柱。

由于原设计选用风机的最大风量为390米³/分, 如果不考虑漏风量, 在原定风管直径60厘米的情况下, 风管内的风速可高达23米/秒, 而不是12米/秒。此时的摩阻损失(按400米距离设置一台风机)在452毫米水柱以上, 并不是123.7毫米水柱。

2. 根据一些工程的实践经验, 施工中尽管采取一定防漏措施, 但管道漏风仍难避免。所以, 在施工中加强风管维护, 及时堵漏是必要的。但设计中仍需参照经验数据, 适当增大风量, 以确保掘进工作面空气清新, 文明生产。另据有关资料介绍, 金属风管的漏风多发生在风管接头处。风管安装质量较好时, 其单个接头漏风系数可降低为0.001, 当风管长400米时, 漏风系数宜按1.12计算。即要求风机产生的风量应比掘进工作面需风量加大0.12倍。

3. 原设计需风量390米³/分、风压123.7毫米水柱, 选用JBT61—2型轴流式风机。

根据JBT61—2型风机的技术性能(见插图曲线), 其生产能力是无法同时达到风量390米³/分、风压123.7毫米水柱的。实际上, 该机生产风量390米³/分时, 其风压仅能达到36毫米水柱(该机性能表中列出的工作点5); 当产生风压130毫米水柱时, 则其风量是312米³/分左右(该机性能表中列出的工作点1)。因此, 原选择的JBT61—2型风机容量偏低, 无法满足要求。



四、建 议

1. 通风方式宜采用混合式。

2. 掘进工作面需风量宜按 $615\text{米}^3/\text{分}$ 考虑,要求通风机工作风量不应低于 $690\text{米}^3/\text{分}$ 。
3. 当风管直径60厘米、风管长400米时,流经风管内风量 $652\text{米}^3/\text{分}$,其摩阻损失高达1261毫米水柱,不能满足要求。因此,风管直径宜用80厘米。
4. 当相距400米布置一台风机,风管直径为80厘米时,通风摩阻损失为234毫米水柱。若再考虑到风管入口、拐弯等局部摩阻损失,则通风机工作风压不应低于260毫米水柱。
5. 吸出风管的吸风口,可距工作面30~50米,出风管口应伸出洞外20米。
6. 为保证洞内空气流动及减少风机数量,无需自洞外引进压入风管,可在距工作面50~80米处设置一台JBT—61—2型14匹风机,用直径0.7米软质风筒,3~5米长的小大头过渡节与风机联接。
7. 根据工作所需风量与风压,可用两套28匹JBT—62—2型吸出风机并联,以满足风量的需要。每套风管尚需串联3~4台型号相同的风机,以满足洞长1400米独头通风时的风压需要。用3~5米长的小大头过渡节联接风机与0.8米直径的金属风筒。
8. JBT型轴流式通风机运转时,其噪音高达105分贝,超过了劳卫标准90分贝的规定。为此,可考虑在洞外设置大容量通风机,以取代设在洞内的并、串联的小风机。此时,最大通风距离按1400米计。当风筒安装良好,单个接头漏风系数 $K=0.0015$,风筒直径宜选用1.0米,其漏风系数约为1.4。经计算,要求风机工作风量 $861\text{米}^3/\text{分}$,工作风压不宜低于350毫米水柱。可选用70B₂—21型轴流式通风机。

省科协系统表彰先进集体 和先进个人

—本刊编委会被评为先进集体

本刊讯:四川省科协于12月3日—5日在成都市召开了先进集体和先进个人的表彰大会。受表彰和奖励的先进集体392个,先进个人1606名。省水力发电工程学会学报《四川水力发电》编委会和施工专委会被评为先进集体,被表彰的先进个人有:曹秉铨、黄敬信、刘满宏、练朝中、李太熙、张德荣、石渠、杨大礼和陈刚等十位同志。

施工专委会主任委员、水电部第七工程局付局长兼总工程师樊增祥和学会付理事长曹秉铨同志,分别代表本学会先进集体和先进个人参加了这次会议。

表彰大会5日上午在锦江大堂礼举行,省委、成都军区、省人大、省政府、省政协以及省军区的领导同志出席了大会。省委和省政府的负责同志杨析综、刘西尧、康振黄在会上讲了话。会上直接给60个先进集体的代表颁发了奖状。