

DOI:10.19853/j.zgjsps.1000-4602.2021.22.003

# 北京冬奥会延庆赛区水生态系统保护与建设方案

郭 浩

(北京北控京奥建设有限公司, 北京 102100)

**摘 要:** 主要介绍了北京冬奥会延庆赛区及周边水生态系统的保护与建设工作。北京冬奥会延庆赛区规划区内佛峪口河沟道及水库水质基本满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅱ类标准,统计结果表明,佛峪口流域涉水植物共 27 科 58 种,两栖爬行动物共 2 目 7 科 18 种。根据工程建设活动对水生态系统的影响机理,从水文过程和水体水质恢复角度,有针对性地提出了水系连通、跌水和生态坡岸设计要点,河沟道水生植物配置方案,以及建立迁地保护基地等涉水动植物保护技术。通过采取上述技术和工程措施,能够保障北京冬奥会延庆赛区及周边水生态系统安全,可为同类雪上场馆项目水生态保护与建设工作提供技术借鉴。

**关键词:** 北京冬奥会; 水生态保护; 动植物资源

**中图分类号:** TU992 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-4602(2021)22-0018-05

## Water Ecological System Protection and Construction Plan in Beijing Olympic Winter Games Yanqing Zone

GUO Hao

(Beijing Enterprises J. O Construction Co. Ltd., Beijing 102100, China)

**Abstract:** This paper mainly introduces the water ecological system protection and construction in the Beijing Olympic Winter Games Yanqing zone and the surrounding area. The water quality of Foyukou River and reservoir in the planning area basically accords with the class II standard in the *Environmental Quality Standards for Surface Water* (GB 3838-2002). The statistical results show that there are 58 species of aquatic plants in 27 families and 18 species of amphibians and reptiles in 2 orders and 7 families in Foyukou Valley. According to the influence mechanism of engineering construction activities on water ecosystem, the key points of water system connectivity, falling water and ecological slope design, the configuration scheme of aquatic plants in river, and establishing the relocation protection base and related measures of protection techniques on water animal and plant are proposed based on the perspective of hydrological process and water quality recovery. The water ecological system safety of the Beijing Olympic Winter Games Yanqing zone and the surrounding area will be guaranteed by adopting the above-mentioned technical and engineering measures, and provide the technical reference of water ecological protection and construction for the similar snow venues construction.

**Key words:** Beijing Olympic Winter Games; water ecological protection; animal and plant resources

基金项目: 北京市科技计划项目(Z181100005318004)

## 1 水生态现状及影响分析

### 1.1 水生态现状

#### ① 河流水系分布

北京冬奥会延庆赛区河流水系属于佛峪口流域,主要包括8条河沟道,总长19.5 km,最宽处5.2 m,最窄处0.9 m,水面积 $6.4 \times 10^4 \text{ m}^2$  (不含佛峪口水库)。规划区内的河流主要包括佛峪口沟、左支沟、右支沟、温泉支沟等沟道(见图1),从拟建国家高山滑雪中心项目到西大庄科村东侧的佛峪口沟长为4.03 km,为规划区内最长河段<sup>[1-2]</sup>。经初步测算,佛峪口流域多年平均径流量 $252.88 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,50年一遇径流量为 $667.6 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,100年一遇径流量为 $761.17 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

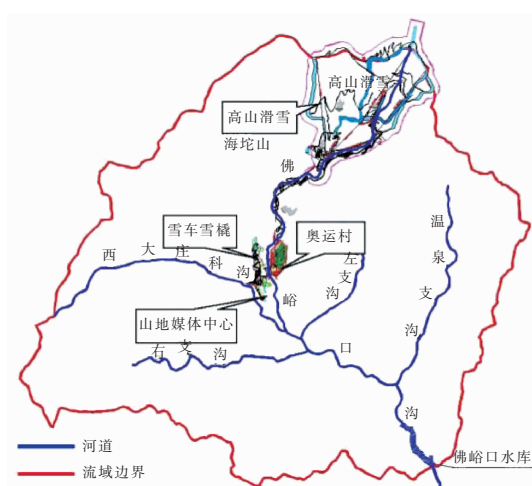


图1 延庆赛区河网及沟道分布

Fig.1 River and channel distribution in Beijing Olympic Winter Games Yanqing zone

#### ② 水质情况

2017年2月15日—21日对规划区内地表水进行监测,共设置8个点位。其中7个为河沟道监测点位,1个为佛峪口水库监测点位。监测结果表明,7个河沟道监测点位除水温未监测外,其余23个基本监测项目均满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中的Ⅱ类标准限值,水质优良。佛峪口水库的监测点位除总氮不满足地表水Ⅱ类水质标准外,其他监测因子均满足《地表水环境质量标准》(GB 3838—2002)中Ⅱ类标准限值。

#### ③ 涉水动植物分布

延庆赛区规划区内水生植物共27科58种,其中北京水毛茛为北京市一级保护野生植物,对水质

要求严格;延庆赛区规划区内两栖爬行动物共2目7科18种,主要分布在国家高山滑雪中心项目雪道的终点区域,两栖爬行动物对生境的依赖程度较高,相对于哺乳动物和鸟类,两栖爬行动物行动较迟缓,迁移能力相对较弱,易受到人类活动影响;鱼类主要分布在赛区内水流速度缓慢( $< 1 \text{ m/s}$ )、具有一定水深( $> 10 \text{ cm}$ )、水质清澈、水草较多、水底泥沙石子充足、向阳并有隐蔽处的水域,如佛峪口水库库区、塘子沟、兰角沟、回声崖附近等。

### 1.2 水生态影响分析

#### ① 水文过程影响分析

延庆赛区位于延庆区张山营镇西大庄科村以北。经调查,延庆赛区核心区融雪阶段集中在每年的3月—4月,该时段将会产生大量的融雪水。项目赛事造雪量为 $112.64 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,造雪雪水体积比为1.7,因此,本项目赛事期造雪用水量为 $66.26 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,融雪水量为 $66.26 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。项目非赛事运行期不考虑景观延伸区的造雪,非赛事运行期造雪用水量为 $61.13 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

由于规划区国家高山滑雪中心项目海拔位置较高,所在地貌为中低山且沟谷发育、地表水与地下水交换强烈,因此融雪、融冰水主要通过地表下渗、蒸发和地表径流三种途径流失,同时还有一定的损失水量。

a. 蒸发。融雪水主要发生在3月—4月,根据2014年—2018年的降雨量和蒸发量,按3月—4月最大净增量(最小净减量)考虑,其中3月为 $-111.5 \text{ mm}$ ,4月为 $-88.3 \text{ mm}$ ,表明3月—4月延庆区以蒸发为主,总计 $199.8 \text{ mm}$ 。

项目赛事期雪道面积 $75.02 \text{ hm}^2$  (含技术道路及景观区域),非赛事运行期雪道面积 $50.8 \text{ hm}^2$ 。经计算,赛事期融雪水的蒸发量约 $14.99 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,非赛事期融雪水的蒸发量约 $10.15 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

b. 地表入渗。规划区内沟谷及缓坡处的地层岩性以松散的砾石及砂砾石为主,其他区域的地层岩性以火山碎屑岩、砾岩及凝灰角砾岩为主。根据《地下水流数值模拟技术要求》(GW1—D1),当入渗系数范围在0.30~0.45时,赛区地表水与地下水交换强烈。考虑坡度影响,实际地表入渗系数按0.35考虑,将会有35%的融雪水通过地表下渗进入地下水环境。根据项目赛事运行期及非赛事运行期造雪用水量,赛事运行期和非赛事运行期地表下渗

水量分别约为  $23.19 \times 10^4$ 、 $21.40 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

c. 损失水量。雪道上的雪量在运行期内还会因风吹、运动员运动、维护人员活动而损失,其损失量按造雪用水量的 20% 计,则赛事运行期、非赛事运行期损失水量分别约为  $13.25 \times 10^4$ 、 $12.23 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

d. 地表径流。根据以上计算结果,赛事运行期形成地表径流的融雪水量为  $14.83 \times 10^4 \text{ m}^3$ ,非赛事运行期形成地表径流的融雪水量为  $17.35 \times 10^4 \text{ m}^3$ 。

本项目融雪水大部分为蒸发或自然下渗,少部分通过佛峪口沟汇合,并通过泵站调配至各塘坝,能够全部收集形成径流的融雪水。为保护项目区及周边区域水环境,汛前将融雪水通过综合管廊内的造雪水管排放到佛峪口水库下游,腾空塘坝。

## ② 水质影响分析

a. 生活污水。赛事阶段污水主要来自奥运村、新闻中心、国家高山滑雪中心、国家雪车雪橇中心、西大庄科村等场所,主要污染因子为 COD、BOD<sub>5</sub>、氨氮等。赛区将规划建设处理能力为  $4\,000 \text{ m}^3/\text{d}$  的污水处理站,出水水质按北京《水污染物综合排放标准》(DB 11/307—2013) A 标准排放限值执行,污水处理达标后部分作为再生水回用作冲厕和景观用水,部分储存于蓄水池内,回用于造雪,可实现生活污水零排放,不会对河沟道及佛峪口水库水质产生影响。国家高山滑雪中心及媒体转播中心由于生活用水量较小,海拔较高,因此采用源分离技术或分散处理技术,不统一收集处理,其再生水用于高山滑雪中心的冲厕及景观用水。因此,也不会对赛区及周边水环境产生影响。

b. 融雪水。项目造雪用水取自白河堡水库,水库水质满足地表水Ⅱ类水质标准。但雪道表层需要有一层薄的硬冰壳,这种表面对滑雪板的摩擦力非常小,滑雪板无需打蜡即可快速滑行,因此当人工造雪的雪道表面硬度达不到要求时,可能会不定期添加化学药剂如硝酸盐、灭活菌、海盐等,以保持雪道表层的硬度,这就导致融雪水不可避免地含有硝酸盐、灭活菌、海盐等物质,造成氮含量超标。据此,赛区规划修建塘坝(高程 900 m)用于截留融雪径流,以减缓融雪水对佛峪口水库水质的影响。

c. 初期雨水。根据文献<sup>[3]</sup>,初期雨水径流中 COD 约为 200 mg/L,SS 约为 800 mg/L,TN 约为 4 mg/L,TP 约为 9 mg/L,远超地表水Ⅱ类水质标准。初期雨水若直接排入河沟道,将给赛区及周边水环

境造成一定程度的污染。

## ③ 涉水动植物的影响分析

a. 水生植物。目前规划区内的北京水毛茛主要分布于低海拔地区,核桃楸下的小溪里,数量稀少,呈小片分布。奥运村、国家雪车雪橇中心和新闻中心区域的工程建设活动将在一定程度上对北京水毛茛的栖息地产生影响,考虑到水毛茛对生境条件要求较为苛刻,故选择适合北京水毛茛生存与繁衍的环境,对其实施迁地保护。

b. 两栖爬行动物。规划区内涉水区域的建设施工有可能干扰一部分动物的自然栖息地,使其随着工程进程逐渐向外围迁移,但爬行动物迁移能力相对较弱,对生境的依赖程度较高。

c. 鱼类。根据调查,赛区内鱼类主要分布于水流速度缓慢且具有一定水深的河沟道内。国家高山滑雪中心的雪道建设以及塘坝(高程 900 m)的修建,将使水域面积和水流条件发生变化,对鱼类生境存在一定影响。

## 2 水生态保护与建设

### 2.1 水系连通

① 涵洞。为保证赛区内水系的连通,降低工程建设对水生生态系统的影响,可设置涵洞使赛区内河道形成连通网络。管廊工程设置涵洞较困难,故应在管廊工程下方设置地下涵洞(见图 2)。地下涵洞因坡度较大,应在进水口前方设置蓄水井。当涵前的天然河沟纵坡大于 50% 时,水流速度较大,在蓄水井后应设置阶梯式跌水井,以减缓流速,削弱水能。跌水井的深度以在综合管廊下方 0.5~1.0 m 处为宜,可选用渗水砖或透水混凝土。



图2 地下涵洞剖面示意

Fig.2 Schematic diagram of underground culvert

② 漫水桥。当确实因综合管廊的铺设而无法设置涵洞时,可考虑设置漫水桥,桥梁纵轴线宜与沟道成正交。漫水桥为无坡平桥,过水路面及衔接漫水桥两端的漫水路面纵坡均需坡度 $\leq 5\%$ ,漫水路的起坡点应在漫水桥两端 5~10 m 外。在保证安全的情况下,桥面铺装可采用透水混凝土。由于漫水桥具有一定的阻水性,桥面设计不宜过高,否则上游沙

石沉积抬高河床将成为“拦河坝”;漫水桥下如允许,尽可能采用多个小型出水涵洞,以保证水体连通。

③ 线路改移生态设计。雪道和管廊工程建设挤占沟道行洪断面时,为了保证行洪的安全,应采取线路改移工程措施,对于挤占沟道面积较大的,可进行线路改移或局部拓宽河道;对于挤占沟道面积较小的,可采用直立挡墙对雪道边坡进行支护以增加过水断面面积。对于局部拓宽河道的开挖区,根据沟道的蜿蜒度尽量多设计蓄水湖池,形成“袋囊状”结构,这种“袋囊状”结构不仅有利于蓄积融雪水和削减径流,而且水湾处可以截留悬浮物,并为水生动物和两栖动物提供栖息环境,对于景观和生态保护均具有重要意义。

## 2.2 跌水设计

① 仿自然式跌水。由于规划区内河流坡降较大,因此可以仿照自然景观,利用施工后的山石废料,适当放置在河道内,充分利用自然地形坡降,设计多级小跌水,对水体进行自然充氧。这样既能在河道中形成深潭、浅滩交替变化,削减径流,也利于水生动植物的生长。此外,利用跌水形成多级曝气,有利于水体自净。各级跌水的间隔和每级跌水的高度根据自然地形进行设计。采用山石在河流中间自然堆砌,营造自然踏脚石的形式,不仅可以在洪水期间减缓流速,减小水流对河道两岸的冲刷,还可以形成小岛,为两栖动物及水鸟提供栖息地。

② 叠水花台式跌水。当河沟道宽度  $> 0.8 \text{ m}$  时,将每级跌水平台作为一个小型的蓄水池,每级跌水平台高  $0.8 \sim 1.0 \text{ m}$ 、宽  $0.8 \text{ m}$  左右,长度根据实际情况确定,尽量不破坏坡面上原有植被。在花台内种植具有观赏性且有净水功能的水生植物,既可以减缓水流速度,又可以净化水质。

## 2.3 生态坡岸

① 稳定坡岸设计。坡岸较稳定时,尽量采用植被护坡,即保留原有护坡,在护坡植物稍差的区域,根据该坡岸现有植物种类,从河道坡岸坡脚至坡顶适当补种沉水植物、浮叶植物、挺水植物和中生植物(乔灌木)等护坡植物,形成多层次生态防护,坡面常水位以上补种耐湿性强、固土能力强的草本、灌木及乔木,共同构成完善的生态护坡系统。由于规划区位于松山国家级自然保护区范围内,原有坡岸条件较好,该方案既能有效防止土壤侵蚀、固土护

坡,又能改善生态、美化河岸景观,是一种兼顾生态功能和景观功能的堤岸防护技术。

② 不稳定坡岸设计。坡岸欠稳定时,宜选择工程护坡和植被护坡相结合的方法,根据不同的坡度采用生态袋、土工格栅、蜂巢格室等软性护坡技术,提高整个坡岸的抗冲刷能力,充分发挥坡岸的防洪效应,同时也有利于生态环境的改善。

## 2.4 河道植物选择

由于赛区内常见水生和湿生植物的净水功能研究较少,根据文献<sup>[4]</sup>,挺水植物对 TN、TP 和 COD 的去除率较高,其中,水葱、千屈菜和芦苇对 TN 的去除率较高;香蒲、水葱、千屈菜对 TP 的去除率较高;芦苇、香蒲、水葱和菖蒲对 COD 的去除率较高。

浮叶植物的污染物去除率总体低于挺水植物。比较而言,浮叶植物对 TN 的去除率较低,TP 其次, COD 最高。在浮叶植物中,对 TN 去除率稍高的植物有野菱和浮萍,对 TP 去除率较高的植物有浮萍和槐叶萍,对 COD 去除率较高的植物为槐叶萍。

沉水植物对污染物的去除效率低于挺水植物,但远高于浮叶植物。其中, TN、TP 和 COD 去除率均较高的植物为马来眼子菜、狐尾藻、小茨藻,尤以小茨藻去除率最高。因此,沉水植物优先选择小茨藻,其次为马来眼子菜和狐尾藻。

结合延庆赛区海拔、坡面朝向,采用挺水、浮叶、沉水相结合的湿生植物配置方案,具体如表 1 所示。

表 1 河道水生植物构建方案

Tab. 1 Aquatic plants configuration scheme

海拔/m	坡面朝向	挺水植物	浮叶植物	沉水植物
1 200 ~ 1 500	阴坡/半阴坡	芦苇	浮萍	马来眼子菜
	阳坡/半阳坡	千屈菜	槐叶萍	小茨藻
800 ~ 1 200	阴坡/半阴坡	香蒲、水葱	浮萍	狐尾藻
	阳坡/半阳坡	千屈菜、菖蒲	浮萍、槐叶萍	小茨藻

## 2.5 涉水动植物保护

① 涉水野生植物。针对延庆赛区内北京市一级保护野生植物水毛茛,由于其对生境的要求十分苛刻,轻微的干扰就可能影响到其生存与繁衍,因此在未受工程干扰区域建立就地保护基地。对于奥运村西侧沟道内的北京水毛茛,由于奥运村、国家雪车雪橇中心的建设,其生境将受到较大影响,因此采取迁地保护措施。为保证根系和植株的完整,采用挖取水毛茛植株的方式,将其种植在水洼入水口的松软泥土里,全株浸没于溪水中。由于北京水毛茛对水质要求很高,需要对移植区上游水源进行严格管

控,做好生活污水的隔离和处理。延庆赛区共建立3处水毛茛迁地保护基地,目前水毛茛均长势良好。

② 两栖爬行动物。由于赛区施工将占用两栖和爬行动物的自然栖息地,需要在赛区非建设区域重建一些栖息地。对于两栖动物,结合项目设计图纸中的景观水面、蓄水池以及赛区水源地等水资源,重新建设适合两栖动物产卵与越冬的生境,由于项目区冬季温度低,为了保证冬眠个体能够正常生存,恢复栖息地面积不能太小,建议规格(长×宽×高)为 $1\text{ m}\times 2\text{ m}\times (0.5\sim 1.0)\text{ m}$ 。在赛区蓄水池、景观水面和溪流交汇的位置,于入水口附近的水域堆积一些石块,入水口深度不小于 $1.5\text{ m}$ ,使其符合两栖动物产卵与越冬需求,同时有助于夏季繁殖期变态蝌蚪能够就近登陆。这些人工营造的生境在赛区建设完成后仍可发挥保护两栖动物的生态作用。

③ 鱼类。由于赛区内高程为 $900\text{ m}$ 的塘坝设置在佛峪口主沟内,造成塘坝下游水流不连续,形成减脱水河段,因此,该塘坝设计需要设置鱼道,以降低对水生生物的影响。规划区的鱼类主要为小型的半洄游性或不洄游性鱼类,因鲤科和鳅科的小型鱼类游泳能力较弱,且项目规划区自然坡底较高(达 $1:10$ 左右),因此建议采用规则码放的加糙坡道型仿自然式鱼道,这种鱼道不仅具有过鱼功能,而且鱼道本身就是良好的水生生物栖息地。

鉴于地形和空间限制,鱼道建设方案如下:a. 结合 $900\text{ m}$ 塘坝,鱼道拟建于 $900\text{ m}$ 塘坝底部,在有常水流的位置,以管道的形式建设,管道宽度和常水流宽度一致,管道坡度不低于 $1:20$ ,尽量采用S形,以减缓水流速度,并为鱼类逆流而上提供栖息空间。b. 管道外结合自然河沟道,建成阶梯状,鱼道宽度与常水流宽度一致。阶梯高 $10\text{ cm}$ 、宽 $50\text{ cm}$ ,末端设置 $10\text{ cm}$ 高的挡墙,每级挡墙末端留 $20\text{ cm}$ 左右的小口,使水流在鱼道内呈S形流动,一方面降低水流速度,另一方面为鱼类提供休憩空间。鱼道流速与鱼的游泳能力有关,参考《水利水电工程鱼道设计导则》(SL 609—2013),鱼道内的断面平均流速设为 $0.3\sim 0.4\text{ m/s}$ ,最大流速为 $0.6\sim 0.7\text{ m/s}$ 。

### 3 结语

北京2022年冬奥会和冬残奥会是我国历史上

第一次举办冬季奥运会,为贯彻落实“绿色、共享、开放、廉洁”办奥理念,在详细分析延庆赛区工程对水生态影响的基础上,以近自然河流的理念,提出了水系连通设计方案、跌水设计方案、生态坡岸设计方案、河道植物选择及涉水动植物保护方案。通过采取上述技术和工程措施,减缓水土流失,保障冬奥会延庆赛区及周边水生态系统功能和安全,为同类雪上场馆项目建设水生态保护与建设工作提供技术借鉴。目前,延庆赛区水生态保护系统设计与工程建设正按照此方案持续推进。

### 参考文献:

- [1] 李恒义. 北京冬奥会延庆赛区山地场馆水资源可持续策略研究[J]. 中国水利,2019(9):11-13.  
LI Hengyi. Strategic studies on water resources sustainability in mountain competition areas of Yanqing division of Beijing Olympic Winter Games[J]. China Water Resources,2019(9):11-13(in Chinese).
- [2] 韩丽,李超,杨勇. 冬奥会延庆赛区水资源配置及保障措施研究[J]. 北京水务,2018(4):7-12.  
HAN Li, LI Chao, YANG Yong. Water resources allocation and support measurement of the Yanqing Olympic Winter Games[J]. Beijing Water,2018(4):7-12(in Chinese).
- [3] 王迪,赵可,王蕴琦. 下垫面雨水初期地表径流污染物的研究[J]. 资源节约与环保,2019(3):20-21.  
WANG Di, ZHAO Ke, WANG Yunqi. Study on surface runoff pollutants in the initial stage of rainwater on the underlying surface[J]. Resources Economization & Environmental Protection, 2019(3):20-21(in Chinese).
- [4] 卢珊,李兆欣,蔡春利,等. 北京市河道水质维护技术研究及应用进展[J]. 北京水务,2019(1):7-11.  
LU Shan, LI Zhaoxin, CAI Chunli, et al. Research and application progress on water quality maintenance technologies of river courses in Beijing[J]. Beijing Water,2019(1):7-11(in Chinese).

作者简介:郭浩(1984—),男,天津人,博士,高级工程师,主要从事生态环境保护研究工作。

E-mail:guohao8432@126.com

收稿日期:2019-10-13

修回日期:2020-06-24

(编辑:丁彩娟)